

科尔沁沙地人工植被对土壤水分 异质性的影响*

赵 文 智

(中国科学院寒区旱区环境工程研究所, 冻土工程国家重点实验室, 兰州 730000)

摘 要 选择植被状况基本相同而坡位不同的样地, 坡向和坡度基本相同而植被类型不同的沙丘背风坡(东南坡)样线及沙丘上部样地, 在生长期调查其土壤水分状况, 探讨植被类型、坡位对沙地土壤水分状况及水分格局的影响。结果表明: 沙丘背风坡(东南坡)人工植被土壤水分状况按差巴嘎蒿、杨树、樟子松的次序依次变差。以 0.5m 为间隔取样分析表明沿沙丘下部到沙丘上部土壤水分状况有下降趋势。在水平格局上, 樟子松林地土壤水分状况在 0~8m, 杨树林地在 0~4m, 流动沙地在 0~9m 的尺度上近似同质, 随着空间距离的增加, 异质性加强; 差巴嘎蒿土壤水分状况在 0~4m 的范围内异质性较高, 4m 以上近似同质。在垂直格局上, 流沙在 0~60cm, 樟子松在 0~80cm, 差巴嘎蒿在 0~120cm 的尺度上异质性很强, 大于该尺度近似同质, 而杨树林地在 0~300cm 的范围内均有较强的异质性。无论水平格局或垂直格局, 人工植被的建立增强了沙地土壤水分的异质性。

关键词 科尔沁沙地, 人工植被, 土壤水分状况, 土壤水分异质性

中图分类号 S152.7

已有大量研究指出, 沙地土壤水分状况不仅受沙土矿物、机械组成, 而且受气温、降水、植被类型、植被密度的影响^[1-3]。也有研究指出沙地土壤水分状况因沙丘部位不同而不同^[4-8]。但类似的研究在采样方法上多用传统土壤水分研究方法^[9], 并未考虑到土壤水分的异质性问题。因此, 并没有揭示土壤水分状况的空间相关性问题。近年来, 随着地统计学在生态学研究中的广泛应用, 使得研究土壤水分的空间异质性成为可能^[10-14]。本文目的在于利用传统统计学和地统计学相结合的方法, 对不同人工植被和地形对沙丘土壤水分格局的影响进行探讨。

1 研究区概况及研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于科尔沁草原东南部奈曼旗中国生态系统研究网络奈曼沙漠化研究站西侧人工固沙区内(N42°57', E120°40'), 平均海拔 345m。有关研究区的自然概况见文献^[4]。

研究区土壤以风沙土为主, 质地较粗, 结构松散。地形起伏, 形成流动沙丘与丘间低地相间分布的

* 国家“九五”攻关课题(96-920-13-02)、国家重大基金课题(49890330)、国家 973 课题(G1999043404)资助

收稿日期: 2000-01-15; 收到修改稿日期: 2000-04-10

地貌景观。沙地天然植被以差巴嘎蒿(*Artemisia halodendron*)和山竹岩黄芪(*Hedysarum fruticosum* var. *Ligosum*)为主,人工植被主要有樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica*)和杨树(*Populus* spp.)。

1.2 研究方法

1.2.1 取样方法 研究的沙丘上、中、下部是以相对高差的三等分为指标划分的。选择的沙丘相对高度介于9~11m。在沙丘上部选择樟子松、杨树、差巴嘎蒿和流沙地段,从5月10日到10月10日生长季内每月取土样一次,每20cm取样一个,取样深度300cm,每个样点3个重复,样点是以树干基部为中心,以1m为半径的圆弧上呈近似等边三角形的三个顶点。用烘干法测定土壤含水量^[9]。用生长季的平均值作为基础数据分析沙丘上部不同植被土壤水分垂直分布的异质性。

选择一个山竹岩黄芪植被分布较均匀的典型沙丘的背风坡(东南坡),分别在沙丘下部、沙丘中部和沙丘上部选定3个样点。从5月到10月每15天取土一次,方法同上。用整个生长季的资料为基础数据,检验同一植被类型不同沙丘部位的土壤水分状况的差异性。

选择4个坡向(东南坡)、坡度、高度相似的沙丘背风坡(迎风坡由于坡向和坡度、植被差异较大,在研究区内很难找到理想的4个沙丘)上选定样线,除流沙外,植被分别是樟子松、杨树、差巴嘎蒿。在生长季初的5月中旬,从沙丘低部到顶部,每隔0.5m取土样一个,取样深度120cm,层次划分和方法同上。用水准仪测量各样点的相对高程。同时调查植被生长状况。以此为基础数据,分析不同植被土壤水分的异质性及其土壤含水量和样点在沙丘上相对高度的关系。

1.2.2 数据处理方法 样地间差异性显著用*t*检验。空间相关性用半方差 $\gamma(h)$ 和双对数半方差图方法分析,即

$$\gamma(h) = \frac{\sum (Z(i) - Z(i+h))^2}{2N(h)} \quad (1)$$

其中 $\gamma(h)$ 为半方差, $Z(i)$ 为*i*点处的土壤水分含量, $Z(i+h)$ 为*i+h*点处的土壤水分含量, $N(h)$ 为距离为*h*的点对的数量。

在对数坐标中,将不同的*h*对应的 $\gamma(h)$ 值表示出来,便得到了双对数半方差图。采用分形维数(*D*)表示土壤水分空间异质性在不同尺度间的关系,*D*的获得借助如下公式:

$$D = (4 - m) / 2 \quad (2)$$

*m*为双对数半方差的斜率。

2 结果讨论

2.1 植被对土壤水分的影响

在生长季初的5月份,0~120cm樟子松林平均土壤含水量仅为0.82%,杨树为1.11%,差巴嘎蒿为1.69%。它们之间存在着显著的差异(表1)。

表1 三种植被土壤水分状况描述统计

Table 1 Statistics of soil moisture under different types of plantation on leeward slope

植被类型 Plantation type	平均值 Average	标准误差 Standard deviation	中值 Median	最小值 Minimum	最大值 Maximum	T 检验 ¹⁾ T-test
樟子松	0.821	0.018	0.8	0.75	2.08	7.39
杨树	1.11	0.035	1.08	1.0	2.28	3.89
差巴嘎蒿	1.69	0.081	1.64	1.34	2.86	10.61

1) 樟子松 vs. 杨树 = 7.39; 杨树 vs. 差巴嘎蒿 = 3.89; 差巴嘎蒿 vs. 樟子松 = 10.61. $t_{0.01} = 2.46$

从土壤水分分布的频率来看, 樟子松林地0~ 120cm 有 87.5% 的土壤的水分含量介于 0.5% ~ 1.0%, 有 6.9% 土壤的水分含量介于 1.0% ~ 1.5%。杨树林地有 30.8% 土壤的水分含量介于 0.5% ~ 1.0%, 53.8% 土壤的水分含量介于 1.0% ~ 1.5% 之间, 10.3% 土壤的水分含量介于 1.5% ~ 2.0%; 差巴嘎蒿林地有 47% 土壤的水分含量介于 1.0% ~ 1.5%, 20.5% 土壤的水分含量介于 1.5% ~ 2.0% 之间, 有 12.8% 土壤的水分含量介于 2.0% ~ 2.5% 之间(图 1)。

2.2 沙丘部位对土壤水分状况的影响

沙丘下部与沙丘中部山竹岩黄芪的土壤水分状况有显著差异 ($t = 3.05, t_{0.05} = 1.96$), 而沙丘下部与沙丘上部 ($t = 1.93, t_{0.05} = 1.96$), 沙丘中部与沙丘上部 ($t = 1.87, t_{0.05} = 1.96$) 均不存在显著差异。

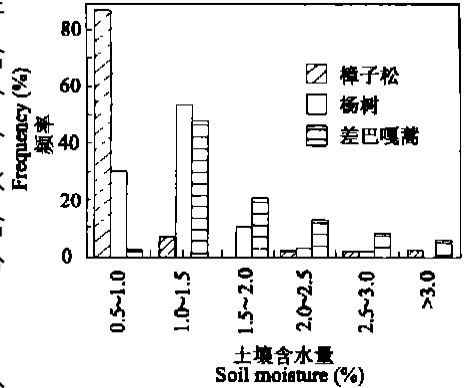


图 1 沙丘背风坡不同植被类型土壤水分分布频率

Fig. 1 Soil moisture frequency distribution under different types of plantation at leeward slope

从土壤水分分布频率看, 沙丘下部 11% 的土壤的含水量分布在 1.0% ~ 1.5%, 40% 分布在 1.5% ~ 2.0%, 22% 分布在 2.0% ~ 2.5% 占 22%; 沙丘中部 41% 的土壤含水量分布在 0.5% ~ 1.0%, 42% 分布在 1.0% ~ 1.5%; 沙丘上部 34% 土壤的含水量分布在 0.5% ~ 1.0%, 1.0% ~ 1.5% 土壤的含水量占 33%, 12% 分布在 1.5% ~ 2.0% (图 2)。

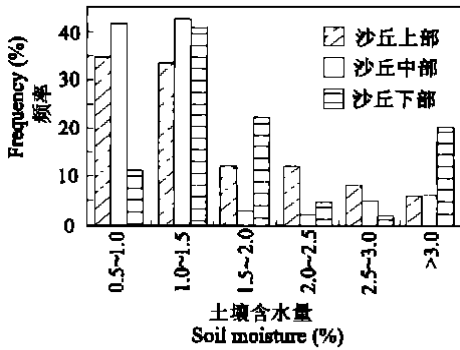


图 2 沙丘不同部位山竹岩黄芪土壤水分分布频率

Fig. 2 Soil moisture frequency distribution under *Halysarum fruticosum* var. *Ligosum* plantation at different parts of sand dune

2.3 沙地土壤水分状况沿沙丘相对高度的变化

无论杨树、樟子松还是差巴嘎蒿 0~ 120cm 土壤水分含量沿沙丘下部到沙丘上部有递减趋势, 与其所在部位的相对高度的相关系数分别为 - 0.67, - 0.73, - 0.63, 它们的相关系数的绝对值均大于 0.62 ($t_{0.01} = 0.62$), 说明它们之间的关系是显著的。

2.4 沙丘土壤水分异质性

2.4.1 水平分布异质性 无论哪种植被类型, 双对数半方差图均存在拐点。半方差图拐点位置因植被类型而不同。樟子松人工林地在 0~ 8m 半方差图的分形维数 $D = 1.8$, 8~ 16m 分形维数 $D = 0.8$ 。杨树人工林地 0~ 4m 分形维数 $D = 1.95$, 5.5~ 10m 分形维数 $D = 0.91$, 10m 以上分形维数 $D = 2$ 。流动沙地 0~ 8.5m 分形维数 $D = 1.81$, 8.5~ 16m 分形维数 $D = 0.74$ 。差巴嘎蒿在 0~ 4m 的分形维数 $D = 1.32$, 4m 以上分形维数 $D = 2$ (图 3)。

2.4.2 垂直分布异质性 樟子松人工林地在 0~ 80cm 的垂直尺度上分形维数 $D = 1.73$, 80~ 300cm 的分形维数 $D = 2$ 。杨树人工林地在 0~ 80cm 垂直尺度上分形维数 $D = 1.5$, 在 80~ 300cm 分形维数 $D = 1.38$ 。差巴嘎蒿土壤水分在 0~ 120cm 的垂直尺度上分形

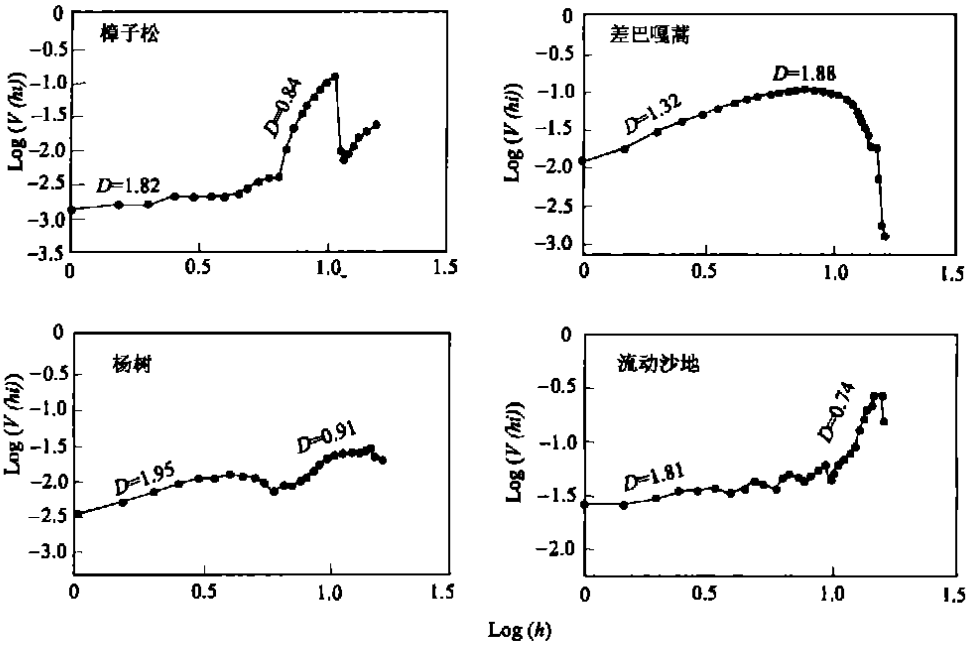


图3 水平方向双对数半方差图

Fig.3 Horizontal semivariogram corresponding to soil moisture spatial heterogeneity at logarithm scale

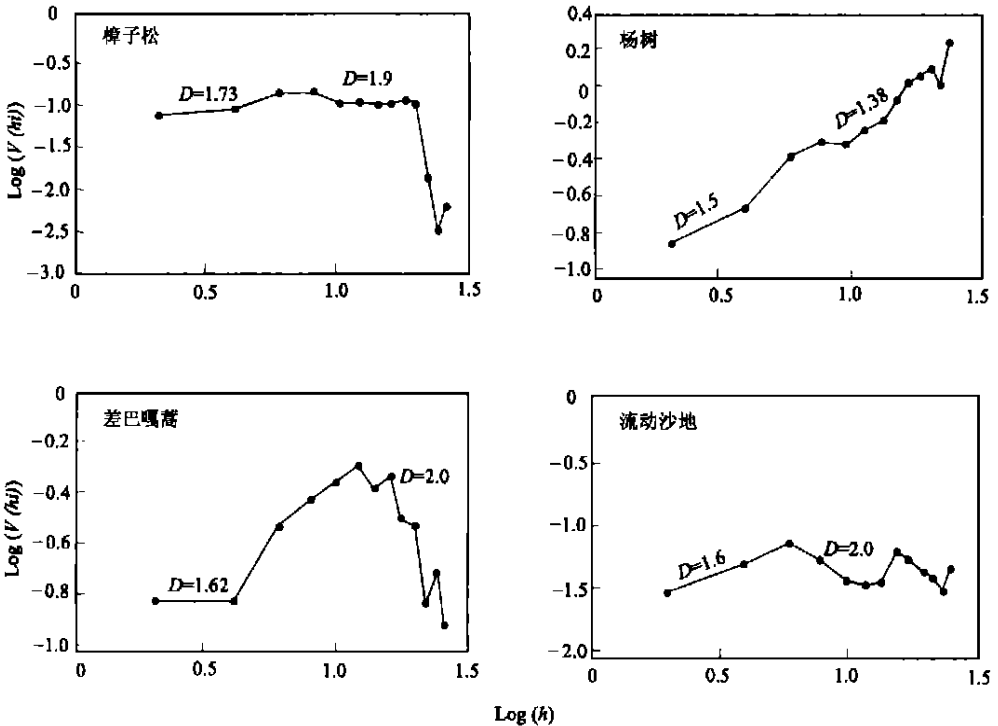


图4 垂直方向双对数半方差图

Fig.4 Vertical semivariogram corresponding to soil moisture spatial heterogeneity at logarithm scale

维数 $D = 1.62$, 120cm 以上分形维数接近 2。流动沙地在 0~ 60cm 的垂直尺度上分形维数 $D = 1.6$, 60cm 以上分形维数接近 2(图 4)。

3 讨 论

1. 沙地人工植被对土壤水分状况的影响是明显的。从半灌木的差巴嘎蒿到乔木树种杨树和樟子松, 土壤水分逐渐减少。因为研究对象为配置均匀的人工林, 造林密度 $2 \times 1\text{m}$ 。因此, 这种差异与密度关系不大。杨树的耗水量并不比樟子松低, 但由于它对土壤水分的要求高, 而樟子松为耐旱树种, 对土壤水分的要求低^[15]。所以, 当沙地土壤水分降低到一定程度时, 樟子松仍然能够从土壤中吸收水分而杨树则不能, 这就造成樟子松林地的土壤水分比杨树的差。差巴嘎蒿属半灌木, 耗水量小于乔木树种, 因此, 其土壤水分状况要好于其他两种人工林地。

2. 如果不考虑异质性的存在, 植被为山竹岩黄芪沙丘背风坡在整个生长季内, 虽然沙丘下部和沙丘中部土壤水分状况存在明显差异, 但沙丘上部和沙丘中部、沙丘上部与沙丘下部之间土壤水分含量并无统计意义上的显著差异。土壤含水量与相对高度相关分析表明(图 3), 0~ 120cm 土壤含水量与它们所在的沙丘相对高度存在着显著关系, 即 0~ 120cm 土壤水分含量依赖其所在沙丘部位。这与山竹岩黄芪沙丘中部土壤水分与沙丘下部明显差异的结论相矛盾。因此, 在研究土壤水分时, 取样时对尺度和异质性的考虑就显得非常必要。

3. 地统计学中的半方差与其所对应的距离在对数坐标中的关系能够很好的描述空间异质性。分形维数是描述这种空间异质性(空间相关性)的有力工具^[12, 16]。双对数半方差图总存在明显的线性区域和拐点, 出现拐点的尺度和存在格局的尺度完全一致^[17]。当在一定间隔范围内, 样方间差异符合一定的规律时, 双对数半方差图表现为线性。当双对数半方差图出现拐点时, 说明样方间差异在拐点前和拐点后的尺度上空间相关规律发生显著变化^[17]。变异函数揭示了整个尺度上的空间变异格局, 但变异函数在最大间隔距离 $1/2$ 左右才有意义^[18]。因此, 本文主要讨论的是水平尺度 10m, 垂直尺度 150cm 内的拐点前后的变化规律。

如双对数半方差图在一定尺度范围内存在线性关系, 直线斜率经过公式(2)的转换即得到分形维数。由公式(2)可知, 当 $D = 2$ 时, $m = 0$, 此时双对数半方差图水平, 其统计意义在于所有尺度间隔样方差异都相同, 样方的土壤水分状况是同质的。当 D 越远离 2, m 值越大, 双对数半方差图中的直线越陡, 表现出不同尺度间隔样方间差异性越显著, 土壤水分的空间异质性就越强。在双对数半方差图中, 同质区域最小尺度可确定为最小取样面积^[19]。

从图 4 可以看出, 樟子松人工林地土壤水分在 0~ 8m, 杨树在 0~ 4m, 流动沙地在 0~ 9m 的尺度上 $D = 1.8 \sim 1.95$, 说明其空间异质性很低, 可以近似认为是同质的。在这些尺度内, 传统的土壤水分取样方法仍然适用。但超出这一尺度, 异质性增大, 用传统取样方法得出的结论的真实性和可靠性就受到挑战。也可以看出, 在流沙地建立人工乔木林后, 降低了土壤水分相对同质的尺度, 从而增强了土壤水分的异质性。差巴嘎蒿在 0~ 4m 尺

度上土壤水分异质性很大, > 4m 时近似同质。因此, 研究它的土壤水分状况的取样间隔只要在 4m 以上即可。

从图 6 可知, 樟子松人工林地在 0~ 80cm 尺度上 $D = 1.73$, 80~ 300cm 尺度 $D = 1.90$, 接近于 2, 说明其取样间隔 80cm 即可。杨树林地的土壤水分尽管在 0~ 80, 80~ 300cm 存在拐点, 即具有不同的空间异质性, 但在 300cm 的范围内仍然无明显的空间相关规律。差巴嘎蒿在 0~ 120cm 空间异质性较强, > 120cm 相对同质。流动沙地 0~ 60cm 空间异质性较强, > 60cm 相对同质。说明在垂直分布上人工植被的建立增强了土壤水分的异质性。

4 结 论

1. 人工植被土壤水分状况沿着差巴嘎蒿、杨树、樟子松的次序依次变差。

2. 以 0.5m 为间隔取样表明人工植被 0~ 120cm 土壤水分含量沿沙丘下部到沙丘上部有递减趋势。沙地土壤水分状况在水平格局上, 樟子松林地在 0~ 8m, 杨树林地在 0~ 4m, 流动沙地在 0~ 9m 的尺度上近似同质, 随着空间距离的增加, 异质性加强; 差巴嘎蒿土壤水分状况在 0~ 4m 异质性较高, 4m 以上近似同质。在垂直格局上, 流沙在 0~ 60cm, 樟子松在 0~ 80cm, 差巴嘎蒿在 0~ 120cm 的尺度上异质性很强, 大于该尺度近似同质, 而杨树林地在 0~ 300cm 的范围内均有较强的异质性。无论水平格局或垂直格局, 人工植被的建立增强了沙地土壤水分的异质性。

参 考 文 献

- 冯 起, 程国栋. 我国沙地水分分布状况及其意义. 土壤学报, 1999, 36(2): 225~ 236
- 蒋 谨, 丛自立. 从水分平衡的角度探讨固沙植物的合理密度问题. 生态学杂志, 1986, 5(1): 7~ 12
- H. Ф. 库利克(赵兴梁译). 干旱地区沙地水分状况与水分平衡. 呼和浩特: 内蒙林业出版社, 1989, 10~ 258
- 赵文智, 刘志民, 常学礼. 奈曼沙区植被土壤水分状况研究. 干旱区研究, 1992, 9(3): 40~ 44
- 焦树仁. 辽宁章古台樟子松人工林水分动态研究. 植物生态学与地植物学学报, 1987, 11(4): 296~ 307
- 刘志民. 木岩黄芪的繁殖特点与沙生适应性的关系. 植物生态学与地植物学学报, 1992, 16(2): 136~ 142
- 陈文瑞, 张继贤. 流动沙丘的水分状况与固沙造林. 见: 中国科学院兰州沙漠研究所. 治沙研究(第 4 号). 北京: 科学出版社, 1962. 27~ 35
- 兰州沙漠研究所沙坡头沙漠科学研究所. 包兰铁路沙坡头段固沙原理和措施. 银川: 宁夏人民出版社, 1991. 230~ 250
- A. A. 罗杰(傅作钧等译). 土壤水分状况的研究方法. 北京: 中国工业出版社, 1965. 18~ 45
- Trangmar B B, Yost R S, Uehara G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advanced Agronomy*, 1985, 38: 44~ 94
- Webster R. Quantitative spatial analysis of soil in the field. *Advances in Soil Science*, 1985, 3: 1~ 70
- Burrough P A. Multiscale sources of spatial variation in soil. I. The application of fractal concept to nested level of soil variation. *J. of Soil Science*, 1983, 34: 599~ 560
- 沈思渊. 土壤空间变异研究中地统计学的应用及其展望. 土壤研究进展, 1989, 2: 11~ 24
- 王政权. 地统计学及其在生态学中的应用. 北京: 科学出版社, 1998
- 赵文智. 奈曼沙区樟子松生长状况与水分关系. 中国沙漠, 1992, 12(1): 64~ 70
- Burrough P A. Fractal dimensions of landscapes and other environmental data. *Nature*, 1981, 294: 240~ 242
- 祖元刚, 马克明, 张喜军. 植被空间异质性的分形分析方法. 生态学报, 1997, 17(3): 333~ 336

18. Rossi R E, Mulla D J, Journel A G, *et al.* Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence. *Ecological Monographs*, 1992, 62: 277~ 314
19. Palmer M W. Fractal geometry: a tool for describing spatial patterns of plant communities. *Vegetatio*, 1988, 75: 91~ 102

IMPACT OF PLANTATION ON SPATIAL HETEROGENEITY OF SOIL MOISTURE IN HORQIN SANDY LAND

Zhao Wen-zhi

(*State Key Laboratory of Fræen Soil Engineering, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000*)

Summary

Eight plots with *Artemisia halodendron*, *Populus* and *Pinus* plantations and shifting sandy land both four at leeward with similar slope and exposure and four on top of dune respectively, and three plots with similar *Hedysarum fruticosum var. ligosum* plantation at bottom, middle and top of sand dunes were chosen to monitor soil moisture to determine impacts of the plantation on both soil moisture regime and soil moisture spatial heterogeneity by using fractal dimension and semivariograms in Horqin Sandy Land. The results show that: (1) the soil moisture regime of the plots worsens in the order of *Artemisia halodendron*, *Populus* and *Pinus* plantation; (2) the soil moisture is significantly dependent on its position at the sand dunes; (3) horizontally, the soil moistures for *Populus*, *Pinus* plantations and shifting sand land plots exhibits homogeneity within the scale of 4m, 8m and 9m, respectively. However, that for *Artemisia halodendron* plantation plot show high heterogeneity within the scale of 4m, and homogeneity at the scale of 4m above. Vertically, the soil moisture for *Artemisia halodendron*, *Pinus* plantation and shifting sand land plot exhibits heterogeneity within the depth of 120cm, 80cm, 60cm, respectively, and homogeneity in the depth lower. However, *Populus* plantation plot shows great heterogeneity within the depth of 300cm. In a word, heterogeneity of soil moisture for plantation plots is higher than that for shifting sandy land plots both on horizontal and vertical scales.

Key words Horqin Sandy Land, Plantations, Soil moisture regime, Heterogeneity